

不同抗旱性柑橘砧木相关生理指标 及基因表达差异分析

杨义伶, 黄春辉, 辜青青, 曲雪艳, 刘善军, 徐小彪*

(江西农业大学 农学院, 江西 南昌 330045)

摘要: 为分析不同柑橘砧木抗旱特性, 以期进行柑橘抗旱资源的开发, 以三湖红橘(Sanhuhongju) (抗旱) 和酸柚(*Citrus grandis* 'sour pummelo') (干旱敏感) 实生苗为材料, 进行株高、叶片相对含水量、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、丙二醛(MDA)、脯氨酸、可溶性糖等生理指标及 *sod*、*cat*、*pod*、*pro*、*lea* 等基因表达量差异分析。结果表明, 抗旱品种三湖红橘主要通过吸收深层土壤水分以维持水势, 且株高、叶片相对含水量、SOD、CAT、MDA 更适宜作为三湖红橘的抗旱评价指标。*sod*、*cat*、*pro*、*lea* 基因表达量的变化与相应生理指标的变化相对应, 在适宜生长的干旱条件下表达量下降, 受胁迫危害时表达量上升, 且相对于 *cat*、*sod* 可能为主效基因, 但其基因间的具体关系还有待进一步研究。

关键词: 三湖红橘; 抗旱性; 生理指标; 基因表达; 干旱胁迫

中图分类号: S666 文献标志码: A 文章编号: 1000 - 2286(2012)06 - 1118 - 06

An Analysis of Physiological Index of and Gene Expression Differences in Drought Tolerance of Two Citrus Rootstock Seedlings

YANG Yi-ling, HUANG Chun-hui, GU Qing-qing,
QU Xue-yan, LIU Shan-jun, XU Xiao-biao*

(College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: The objective of this study is to analyze the drought-resistance characteristics of different Citrus rootstocks so as to exploit drought-resistance resources of Citrus. Taking seedlings of 'Sanhu red tangerine' (Sanhuhongju) (drought resistant) and 'Sour pummelo' (*Citrus grandis* 'sour pummelo') (drought sensitive) as test materials, the discrepancy analysis on the physiological indexes such as plant height, relative water content, the activity of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD), the content of malonaldehyde (MDA), proline, soluble sugar and the gene expression of *sod*, *cat*, *pod*, *pro* and *lea* was conducted. The results showed that 'Sanhu red tangerine', which was the drought resistant variety, mainly preserved water potential by absorbing the deeper soil water and it was more suitable to use plant height, relative water content, SOD, CAT and MDA as its drought-resistance evaluating indexes in 'Sanhu red tangerine'. The gene expression of *sod*, *cat*, *pro* and *lea* corresponded with the change of related physiological indexes. Their expression decreased under appropriate drought condition, but increased under drought stress. And compared with *cat*, *sod* might be the principal gene. However, the relation among genes still need further study.

收稿日期: 2012 - 04 - 05 修回日期: 2012 - 10 - 12

基金项目: 江西省重大战略产品科技专项(2008AB00600)

作者简介: 杨义伶(1988—) 男, 硕士生, 主要从事果树种质资源研究, E-mail: luckystar1221@163.com; * 通讯作者: 徐小彪, 教授, E-mail: xiaobiaoxu@hotmail.com.

Key words: Sanhuhongju; drought resistance; physiological index; gene expression; drought stress

干旱是农业生产中限制作物生长发育、产量及品质的重要因子^[1-3]。随着全球气候变暖,干旱已成为世界农业生产的主要制约因素,其对农业生产造成的损失相当于其他非生物胁迫因子之和^[4-5]。柑橘为世界重要的经济水果,也是我国仅次于苹果的第二大水果,在生产中对干旱较为敏感^[6]。在国内柑橘主要分布在我国南面及东南面一带^[7-8],这些区域虽年降雨量充足,但因雨量分布不均常出现季节性干旱,尤其是夏秋高温少雨季节给柑橘生产带来直接的影响。为此,近年来相关研究也开展较多,但主要集中在丛枝菌根真菌^[9-10]、外源激素^[11]、土壤肥水管理^[12]等研究方面,而有关柑橘抗旱砧木的筛选及其相关抗旱特性的分析目前还鲜见报道。

砧木是果树嫁接栽培的基础,对接穗的园艺及病理学性状有着直接影响^[13]。柑橘抗旱砧木的筛选及相关机制的研究将从本质上解决季节性干旱给柑橘生产带来的损失。为此,本课题在前期选用了多种柑橘砧木资源为材料进行柑橘砧木的抗旱性评价,得出江西地方品种三湖红橘抗旱性最强,酸柚最弱。为了对进一步分析柑橘砧木的抗旱特性,本研究选用了三湖红橘和酸柚为材料进行抗旱期间生理指标与相关基因表达差异的分析,以期对柑橘抗旱砧木资源的进一步开发利用及相关抗旱机理的研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与处理

田间试验于2009年3月—2011年9月在江西农业大学生态园塑料大棚内进行,试材为两年生三湖红橘(Sanhuhongju)和酸柚(*Citrus grandis* ‘sour pummelo’)实生苗,种子采自江西省双金柑橘试验站。在田间选取生长良好,长势一致的植株移入高30 cm、口径28 cm的营养钵中,每盆种植1株,营养基质配比为W(园土):W(蛭石):W(有机肥)=4:2:1。树势完全恢复后,开始进行干旱处理,在夏季自然高温干旱条件,每隔5 d对一个处理停止浇水(其他继续供水),分别形成0,5,10,15 d干旱胁迫梯度,并于干旱15 d时同时收集叶样,以干旱0 d植株为对照(CK),每个处理重复5次,试验采用单株小区,随机区组设计。取样时间为08:00—10:00,用冰盒将叶样带回实验室,取部分叶样用于叶片含水量的测定,其余叶样立即液氮固定,并于-80℃保存备用。

1.2 方法

1.2.1 生理指标的测定 株高:田间测量记载法;叶片相对含水量:烘干称重法^[14];丙二醛(MDA):硫代巴比妥酸比色法^[14];超氧化物歧化酶(SOD):氮蓝四唑(NBT)法^[14];过氧化物酶(POD)活性:愈创木酚法^[15];过氧化氢酶(CAT)活性^[14]:紫外吸收法;脯氨酸(Pro)含量:酸性茚三酮法^[16];可溶性糖含量:蒽酮比色法^[16]。

1.2.2 基因表达量的测定 (1) RNA提取和cDNA合成。叶片总RNA提取采用Trizol试剂盒(北京鼎国昌盛生物技术有限责任公司);cDNA合成采用通用型RT-PCR试剂盒(北京鼎国昌盛生物技术有限责任公司)。具体操作严格参照产品说明书,RNA质量和浓度通过琼脂糖凝胶电泳和OD值来确定。

(2) 半定量RT-PCR分析。根据HarvEST Citrus数据库中已有序列,用Primer 5.0设计特异引物(表1)。

表1 RT-PCR引物序列

Tab. 1 Primer sequences of RT-PCR

基因 Gene	正向引物序列 Sequence of forward primer	反向引物序列 Sequence of reverse primer
<i>cat</i>	5'CAATCAAGGTTGGAGGAGC 3'	5'TGCCAGGAACCACAATAGC 3'
<i>sod</i>	5'GTGAGCACTGGCAGAGTTTAT 3'	5'CGACGAAATCATTGCTACTTG 3'
<i>p5cs</i>	5'ATTTCGGAGTGGAAATGGTCT 3'	5'GCCAAATAAACCGACACCTT 3'
<i>pskr1</i>	5'GGAGCCTTCCCCAGATTTTC 3'	5'TCCCAATAGCCATTCCAC 3'
<i>LEA</i>	5'GACTTTGGCTCCGCACTT 3'	5'CGGTAAGTGGCTGTGCT 3'

以柑橘 Actin 基因(上游引物: 5′ - GGAGTTCATTGTAGAAGGTG - 3′, 下游引物: 5′ - GG CGGTGTTCC - CCCAGTAT - 3′) 为内参, 通过半定量 RT-PCR 分析各基因在不同干旱处理下的表达模式。PCR 扩增程序为: 94 ℃ 5 min; 94 ℃ 30 s, 55 ℃ 30 s, 72 ℃ 1 min, 30~35 个循环; 72 ℃ 10 min。扩增产物经 10 g/L 凝胶琼脂糖电泳分离, EB 染色拍照。

1.3 数据分析

实验数据采用 Excel 和 SPSS 18.0 软件分析。

2 结果与分析

2.1 干旱期间三湖红橘和酸柚生理指标差异分析

2.1.1 干旱对三湖红橘和酸柚叶片含水量及株高的影响 叶片相对含水量为衡量植物抗旱性强弱的重要指标。图 1 表明随干旱时间延长, 三湖红橘和酸柚叶片相对含水量均呈下降趋势, 但酸柚下降速率明显高于三湖红橘, 在干旱 5 d 时叶片相对含水量即显著低于对照, 干旱 15 d 时含水量仅为对照的 27.63%。而三湖红橘在干旱 10 d 时叶片相对含水量仍与对照无显著差异, 干旱 15 d 时含水量虽显著低于对照, 但叶片相对含水量仍为对照的 86.95%。

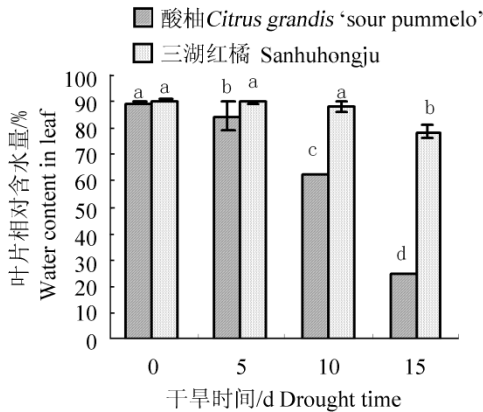


Fig. 1 Change of water content in leaf under drought status

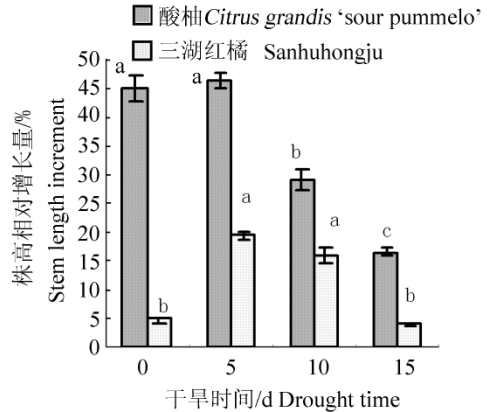


Fig. 2 Change of stem length increment under drought status

株高为衡量作物抗旱性的农艺性状, 从图 2 可以看出, 干旱期间三湖红橘株高相对增长量小于酸柚, 但增长率大于酸柚。在干旱 5 d、10 d 时三湖红橘株高增长量显著高于对照, 其增长量分别达对照的 397.98% 和 326.41%, 干旱 15 d 时仍与对照无显著差异。而酸柚的株高在干旱 5 d 时虽有增加, 但也仅为对照的 103.04%, 与对照无显著差异, 干旱 10 d、15 d 时显著低于对照, 尤其是干旱 15 d 时增长量仅为对照的 28.15%。

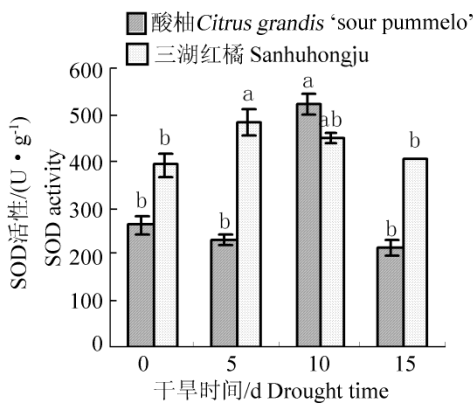


Fig. 3 Change of SOD activity under drought status

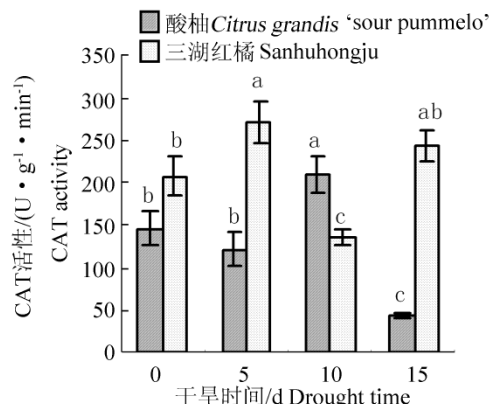


Fig. 4 Change of CAT activity under drought status

2.1.2 干旱对三湖红橘和酸柚叶片保护酶活性及 MDA 含量的影响 SOD、CAT、POD 为逆境胁迫下维持植物体内氧自由基平衡的 3 种主要保护酶。图 3 为 SOD 活性变化图, 从图 3 可以看出三湖红橘的 SOD

活性呈先上升后下降的趋势 酸柚呈下降—上升—下降趋势, 这表明干旱诱导 SOD 发生了活性变化, 但因品种不同变化的趋势与幅度有所差异, 其中酸柚在干旱 5 d 时 SOD 活性有所下降, 在干旱 10 d 时活性最高, 为对照的 200.46%, 干旱 15 d 时为对照的 82.07%。而三湖红橘在干旱 5 d 时 SOD 活性最高, 达对照的 122.92%, 干旱 15 d 时为对照的 102.69%。由此可推知抗旱性强的植株 SOD 活性的变化幅度更小, 但在干旱后期 SOD 活性值能维持在较高水平。

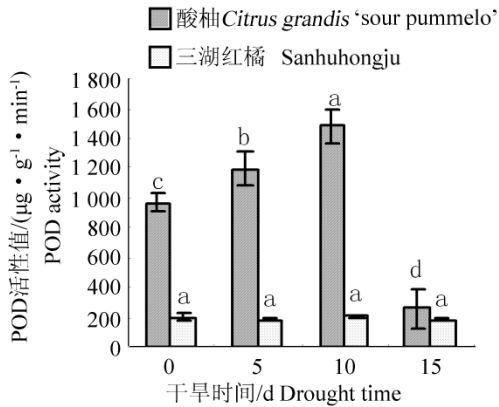


图 5 干旱期间 POD 活性变化

Fig. 5 Change of POD activity under drought status

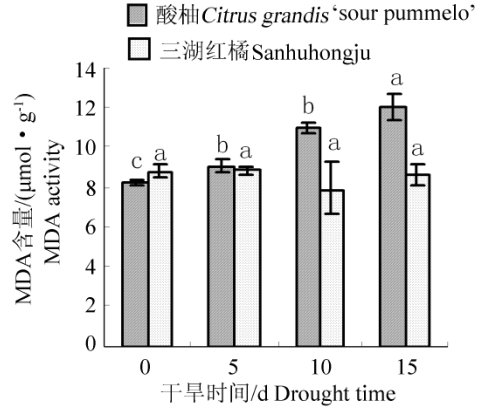


图 6 干旱期间 MDA 含量变化

Fig. 6 Change of MDA content under drought status

与 SOD 相似, 三湖红橘 CAT 也表现为变化幅度小于酸柚但活性值高于酸柚。由图 4 可知, 三湖红橘在干旱 5 d 时 CAT 活性最高达对照的 130.45%, 干旱 10 d 时活性最低为对照的 66.13%, 酸柚在干旱 10 d 时 CAT 活性最高为对照的 142.98%, 在干旱 15 d 最低仅为对照的 30.38%, 但从 CAT 和 SOD 活性的整体变幅看, CAT 变化幅度大于 SOD, 在三湖红橘干旱 10 d 和酸柚干旱 15 d 时 CAT 活性值均显著低于对照, 这表明 CAT 作为抗旱性评价指标可能更为灵敏。

图 5 为 POD 活性变化图, 与 SOD 和 CAT 活性变化不同, 酸柚 POD 活性呈先上升后下降趋势, 在干旱 10 d 时活性值最高, 为对照的 152.69%, 显著高于对照, 但在干旱 15 d 时仅为对照的 27.01%, 显著低于对照, 而三湖红橘在干旱处理期间 POD 活性均与对照无显著性差异, 这表明在抗旱过程中 SOD 和 CAT 先于 POD 作用, 且根据三者抗旱过程中的变化可以看出, 干旱期间酸柚产生的氧自由基伤害大于三湖红橘。

MDA 为膜脂过氧化的重要产物, 其含量累积的多少表明逆境对植株的伤害程度, 从图 6 可以看出, 随干旱胁迫的加重酸柚呈逐渐累积上升的趋势, 而三湖红橘则在干旱过程中无明显变化, 其可能原因与三湖红橘叶片含水量、SOD 和 CAT 活性较高, 植株体内氧自由基累积较少有关, 这也表明 MDA 较适宜作为抗旱性评价的指标。

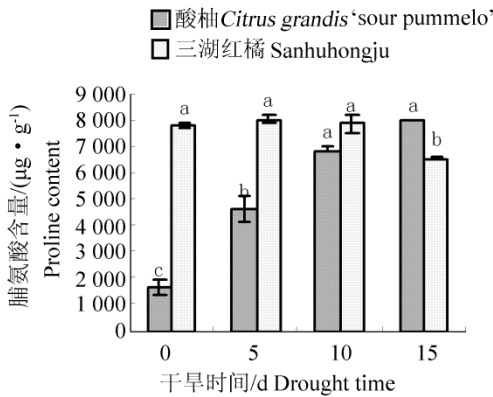


图 7 干旱期间脯氨酸含量的变化

Fig. 7 Change of proline content under drought status

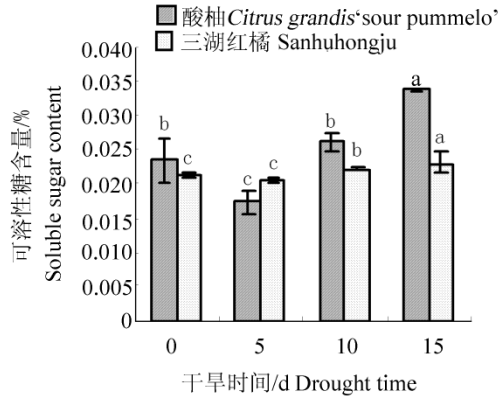


图 8 干旱期间可溶性糖含量的变化

Fig. 8 Change of soluble sugar under drought status

2.1.3 干旱对三湖红橘和酸柚叶片脯氨酸及可溶性糖含量的影响 脯氨酸和可溶性糖为植物体内两种重要的渗透调节物质。从图 7 可以看出, 脯氨酸含量变化与 MDA 含量变化相似, 酸柚随干旱时间延

长脯氨酸含量逐渐累加,干旱 5 d 时即显著高于对照,干旱 15 d 时为对照的 485.85%,三湖红橘则在干旱前 10 d 与对照无显著差异,但干旱 15 d 时却显著低于对照,结合株高增长量、CAT 活性的变化分析,可能原因为适度的干旱有利于作物的生长,干旱 15 d 的土壤湿度较适宜三湖红橘的生长。

图 8 为可溶性糖含量变化图,从图可以看出三湖红橘和酸柚可溶性糖含量均呈先下降后上升趋势,在干旱 5 d 时下降,之后上升,且均显著高于 5 d,其中酸柚在干旱 10 d、15 d 时可溶性糖分别为对照的 111.30%、143.67%,而三湖红橘则为 104.73%、108.50%,由此表明可溶性糖含量的增加有利于提高植物的抗旱性,且在抗旱过程中可溶性糖可能先于脯氨酸作用。

2.2 干旱期间三湖红橘和酸柚相关基因表达差异分析

2.2.1 干旱对三湖红橘和酸柚叶片保护酶基因表达的影响

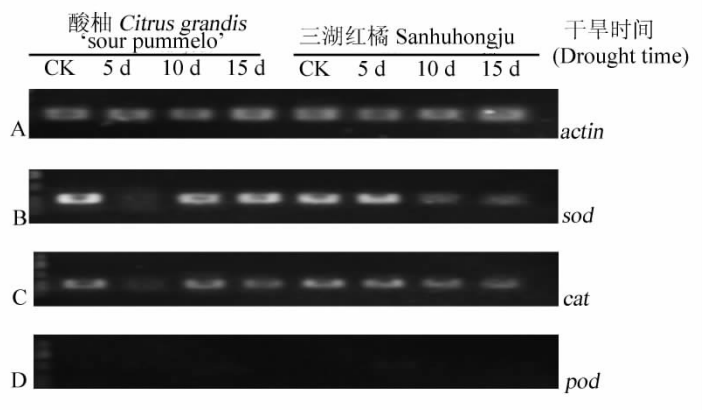
植物生理生化变化是一个复杂的基因调控过程,图 9 为两种柑橘砧木干旱期间保护酶基因差异表达图。A 为柑橘 *actin* 图谱,从图可以看出两种柑橘砧木各处理条带亮度差异较小,基本处于同一水平,表明两种砧木各处理 cDNA 浓度基本一致。B 和 C 为 *sod* 和 *cat* 基因表达图,图中显示,三湖红橘 *sod* 和 *cat* 基因在干旱 5 d 时与对照表达量无明显差异,在干旱 10 d、15 d 时表达量下降。酸柚 *sod* 和 *cat* 基因在干旱 5 d 时表达量下降,几乎无条带出现,干旱 10 d 开始上升,相对于 10 d,干旱 15 d 酸柚 *sod* 表达量有所加强,但 *cat* 有所下降,且干旱期间 *sod* 基因的整体亮度及表达差异较 *cat* 基因亮且明显,这表明 SOD 在抗旱过程作用强于 CAT。从整体变化趋势来看, *sod* 和 *cat* 的变化与 SOD 和 CAT 酶活性的变化有一定的对应性。D 为 *pod* 基因表达图,在本实验中未见表达。

2.2.2 干旱对三湖红橘和酸柚叶片渗透调节基因表达的影响 E 和 F 为 *lea*(编码 LEA 蛋白)和 *p5cs*(编码脯氨酸)基因,从图可以看出其与 *sod* 和 *cat* 基因在表达模式上有一定相似性。

三湖红橘在干旱 10 d、15 d 时表达量下降,酸柚在干旱 5 d 时表达量有所下降,干旱 10 d、15 d 时上升。且从整体变化趋势看, *p5cs* 基因的表达变化与脯氨酸含量的变化也有对应关系,三湖红橘在干旱 15 d 时脯氨酸含量下降, *p5cs* 基因表达量下降,酸柚在干旱后期随胁迫程度加重表达量加强,从而导致了脯氨酸含量的逐渐累积上升。LEA 蛋白为植物抗逆的另一重要物质,在逆境过程中与脯氨酸有异曲同工之处,根据 F 图得知 *lea* 基因表达量的增加有利于加强柑橘砧木的抗逆性,但表达亮度及差异小于 *p5cs*。

3 小结与讨论

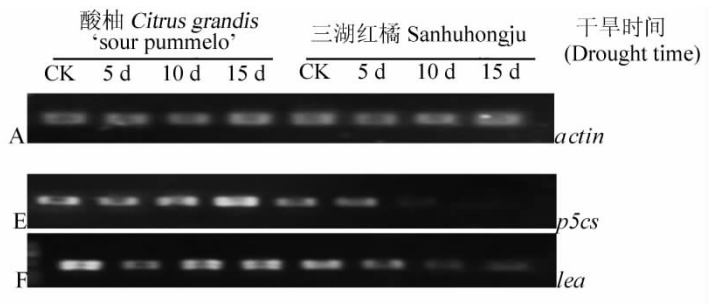
植物对干旱胁迫的响应是一个十分复杂的过程^[17],但主要途径是通过促进根系对深层土壤水分的吸收和渗透物质等生理指标的调节以维持植株水势。因此,叶片相对含水量为评价植株抗旱性的重要



A: *actin*; B: *sod* 基因; C: *cat* 基因; D: *pod*。
A: *actin*; B: *sod* gene; C: *cat* gene; D: *pskr* (*pod* gene) .

图 9 干旱期间保护酶基因的差异表达

Fig.9 Different expression of gene about protecting enzymes under drought status



A: *actin*; E: *P5cs*; F: *lea* 基因。

A: *actin*; E: *P5cs*; F: *lea* gene.

图 10 干旱期间脯氨酸和胚胎晚期发育蛋白基因的差异表达

Fig.10 Different expression of gene about proline and late embryogenesis abundant proteins gene under drought status

指标。通过研究得出干旱胁迫均造成了三湖红橘和酸柚叶片相对含水量的降低,但三湖红橘下降速度较酸柚慢,表明抗旱性强的植株保水能力强,这与郭颖等研究结果一致^[18-19]。株高的增长为植株对干旱适应程度的表现,本研究中酸柚在干旱胁迫下株高增长量大于三湖红橘,但增长率小于三湖红橘,这表明抗旱性的强弱与植株生长率成正比,与增长量成反比,且适度的干旱有利于作物的生长,但因品种不同其适宜的范围不同,酸柚可能在干旱5 d时较适宜,三湖红橘在10~15 d时较适宜。

与多数学者研究结果相似,干旱胁迫中因氧自由基的积累,均引起SOD、CAT、POD等保护酶活性不同程度的升高^[20]。其中三湖红橘和酸柚SOD与CAT活性的变化相似,均为三湖红橘变幅较小,活性值却维持在较高水平,但从两者SOD和CAT的整体变幅看,CAT变幅大于SOD,灵敏度更高,这与DaCosta^[21]、高悦等^[22]的研究结果具有相似性。POD在的抗旱作用研究不同有不同的观点,大部分研究表明POD具有清除氧自由基的功效^[23],但冯祥云等^[24]研究表明POD不宜作为抗旱鉴定指标。本研究从酸柚POD的变化得出POD在干旱过程中具有提高植物抗旱性的能力,但从三湖红橘的变化可以看出,SOD和CAT在抗旱中先于POD作用,POD在植物的抗旱中可能更多起着协同补充的作用。MDA、脯氨酸含量的研究结果表明,酸柚MDA、脯氨酸含量随干旱胁迫的加重累积上升,但三湖红橘却在干旱过程无明显变化,其与三湖红橘干旱期间叶片相对含水量、SOD和CAT活性较高,植株体内活性氧积累较少有关,而这可能也是三湖红橘抗旱性强于酸柚的本质所在。此外,比较可溶性糖含量的变化可以看出干旱诱导了三湖红橘和酸柚的可溶性糖增加,但酸柚增加量大于三湖红橘。

植物的抗旱性是一个复杂的数量性状,其抗旱作用不仅涉及到多个生理指标的作用,同时也是多基因共同作用的结果^[25-26]。本研究表明*sod*、*cat*、*p5cs*、*lea*在三湖红橘干旱10 d、15 d及酸柚在干旱5 d时表达量下降,结合生理指标分析推出*sod*、*cat*、*p5cs*、*lea*基因在适宜作物生长的干旱条件下,表达下降,受干旱胁迫时表达量上升,由此得出*sod*、*cat*、*p5cs*、*lea*均为上调表达基因,并印证了三湖红橘抗旱性强于酸柚的现象。此外,根据*sod*和*p5cs*基因在干旱期间亮度及表达差异大于*cat*和*lea*,推出*sod*和*p5cs*相对于*cat*和*lea*作用更强。

综上所述,可以看出三湖红橘在抗旱过程中主要通过吸收深层土壤水分以维持水势,且比较三湖红橘和酸柚的生理指标可以看出,叶片相对含水量、株高、SOD、CAT及MDA更适宜作为三湖红橘的抗旱评价指标,且根据基因的表达差异分析可以得知生理指标的变化为基因作用的结果。

参考文献:

- [1]单长卷,韩蕊莲,梁宗锁.干旱胁迫下黄土高原4种乡土禾草抗氧化特性[J].生态学报,2012,32(4):1174-1184.
- [2]张海禄,齐军仓,王祥军.干旱胁迫对大麦叶片表皮蜡质含量及主要生理指标的影响[J].麦类作物学报,2012,32(2):280-283.
- [3]张跃强,李剑峰,王重,等.干旱胁迫下小麦幼苗基因表达谱的cDNA-AFLP分析[J].麦类作物学报,2012,32(2):240-244.
- [4]宋贵方,樊伟丽,王俊娟,等.陆地棉干旱胁迫响应基因*GhGR*的克隆及特征分析[J].中国农业科学,2012,45(8):1644-1652.
- [5]孙云南,陈林波,夏丽飞,等.干旱胁迫下茶树基因表达的AFLP分析[J].植物生理学报,2012,48(3):241-246.
- [6]Pérez-Pérez J G, Romero P, Navarro J M, et al. Response of sweet orange cv 'Lane late' to deficit irrigation in two rootstocks. I: water relations, leaf gas exchange and vegetative growth[J]. Irrigation Science, 2008, 26(6): 415-425.
- [7]Wu Q S, Xia R X, Zou Y N, et al. Osmotic solute responses of mycorrhizal citrus (*Poncirus trifoliata*) seedlings to drought stress[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2007(29): 543-549.
- [8]马文涛,樊卫国.干旱胁迫对实生红橘、甜橙和柚叶中营养元素含量的影响[J].西南农业学报,2007,20(4):630-633.
- [9]吴强盛,王幼珊,夏仁学.枳实生苗抗旱丛枝菌根真菌菌种比较的研究[J].园艺学报,2006,33(3):613-616.
- [10]吴强盛,邹英宁,夏仁学.水分胁迫下丛枝菌根真菌对红橘叶片活性氧代谢的影响[J].应用生态学报,2007,18(4):825-830.
- [11]聂磊,刘鸿先,彭少麟.CPPU提高柚树苗抗旱性的研究[J].植物学通报,2001,18(1):90-95.
- [12]肖运萍,刘仁根,汪瑞清,等.水肥处理对赣南脐橙抗旱生理特性及土壤水分的影响[J].安徽农业科学,2009,37(30):14664-14666.

(下转第1162页)

- [4] 马克平. 生物群落多样性的测度方法. 生物多样性研究的原理与方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994.
- [5] 赵志模, 郭依泉. 群落生态学原理与方法[M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆社, 1989.
- [6] 宋大祥, 朱明生, 张锋. 中国动物志 蛛形纲 蜘蛛目 平腹蛛科[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [7] 朱明生, 宋大祥, 张俊霞. 中国动物志 蛛形纲 蜘蛛目 肖蛸科[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [8] 宋大祥, 朱明生, 陈军. 河北动物志: 蜘蛛类[M]. 石家庄: 河北科技出版社, 2001.
- [9] Song Daxiang, Zhu Mingsheng, Chen Jun. The Spiders of China[M]. Shijiazhuang: Science and Technology Publishing House, China, 2000.
- [10] Wang X P. A generic-level revision of the spider subfamily Coelotinae (Araneae, Amaurobiidae) [J]. Bulletin of the American Museum of Natural History 2002, 269: 1-150.
- [11] 朱明生. 中国动物志 蛛形纲 蜘蛛目 球蛛科[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [12] 尹长民, 王家福, 朱明生, 等. 中国动物志 蛛形纲 蜘蛛目 园蛛科[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [13] 宋大祥, 朱明生. 中国动物志 蛛形纲 蜘蛛目 蟹蛛科 逍遥蛛科[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [14] 尹长民, 彭贤锦, 谢莉萍, 等. 中国狼蛛[M]. 长沙: 湖南师范大学出版社, 1997.
- [15] 彭贤锦, 谢莉萍, 肖小芹. 中国跳蛛[M]. 长沙: 湖南师范大学出版社, 1993.
- [16] 陈樟福, 张贞华. 浙江动物志: 蜘蛛类[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1991.
- [17] 陈孝恩, 高君川. 四川农田蜘蛛彩色图册[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1990.
- [18] 张志升. 中国漏斗蛛科和暗蛛科的分类研究(蛛形纲: 蜘蛛目) [D]. 保定: 河北大学, 2003.
- [19] 周谷春, 陈连水, 袁凤辉, 等. 江西省于都县蜘蛛资源的初步研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 45(18): 8502-8506.
- [20] 陈连水, 袁凤辉, 周谷春, 等. 江西贵溪阳际峰自然保护区蜘蛛资源的研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(10): 4522-4524, 4853.
- [21] 陈连水, 袁凤辉, 饶军, 等. 江西马头山自然保护区蜘蛛初步名录[J]. 蛛形学报, 2004, 13(2): 119-124.
- [22] 袁凤辉, 陈连水, 饶军, 等. 江西黎川岩泉自然保护区蜘蛛研究初报[J]. 江西农业大学学报, 2004, 26(4): 512-516.
- [23] 袁凤辉, 刘细明, 陈连水, 等. 江西老虎脑自然保护区蜘蛛研究初报[J]. 江西农业学报, 2005, 17(1): 25-30.
- [24] 陈连水, 袁凤辉, 饶军, 等. 江西水浆自然保护区蜘蛛资源的初步研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(5): 2014-201.

(上接第 1123 页)

- [13] 方治军, 杨义伶, 黄春辉, 等. 几种柑桔砧木幼苗的耐酸性分析[J]. 中国南方果树, 2011, 40(5): 8-11.
- [14] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [15] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [16] 郝建军, 康宗利, 于洋. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [17] 宋家壮, 李萍萍, 付为国. 水分胁迫及复水对藜草生理生化特性的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(2): 62-69.
- [18] 郑敏娜, 李向林, 万里强, 等. 四种暖季型禾草对水分胁迫的生理响应[J]. 中国农学通报, 2009, 25(9): 114-119.
- [19] 郭颖, 韩蕊莲, 梁宗锁. 土壤干旱对黄土高原 4 个乡土禾草生长及水分利用特性的影响[J]. 草业学报, 2010, 19(2): 21-30.
- [20] 欧立军, 陈波, 邹学校. 干旱对辣椒光合作用及相关生理特性的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(8): 2612-2619.
- [21] Dacosta M, Huang B R. Changes in antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation for bentgrass species in response to drought stress[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2007, 132: 319-326.
- [22] 高悦, 朱永铸, 杨志民, 等. 干旱胁迫和复水对冰草相关抗性生理指标的影响[J]. 草地学报, 2012, 20(2): 336-341.
- [23] 刘晓东, 李洋洋, 何淼. PEG 模拟干旱胁迫对玉带草生理特性的影响[J]. 草业科学, 2012, 29(5): 687-693.
- [24] 冯祥元, 于柱英, 种培芳. 不同种源地云杉的苗期抗旱性评价[J]. 甘肃农业大学学报, 2012, 47(1): 95-102.
- [25] 齐旭升, 王兴荣, 许军, 等. 胡麻种植资源成株期抗旱性评价[J]. 中国农业科学, 2010, 43(15): 3076-3087.
- [26] 白志英, 李存东, 孙红春, 等. 小麦代换系抗旱生理指标的主成分分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2008, 41(12): 4264-4272.